



ESTUDIO DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON ACEITE
RESIDUAL DE MOTOR

ARIEL FELIPE MOSOS ARAGON
CARLOS ARTURO MOSOS GUZMAN
JAISON HUMBERTO GOMEZ MARTINEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C
2018



ESTUDIO DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON ACEITE
RESIDUAL DE MOTOR

ARIEL FELIPE MOSOS ARAGON
CARLOS ARTURO MOSOS GUZMAN
JAISON HUMBERTO GOMEZ MARTINEZ

TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR
EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

DIRECTOR:

PH.D. JUAN GABRIEL BASTIDAS MARTINEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C

2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1 GENERALIDADES	2
1.1 Línea de investigación.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
2. MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1 Marco conceptual.....	7
2.1.1 Asfalto y mezclas asfálticas.....	7
2.1.1.1 Asfalto	7
2.1.1.2 Mezclas asfálticas.....	12
2.2 Aceites usados.....	14
2.2 Marco legal.....	21
2.4 Estado del arte.....	23
3. METODOLOGIA	27
3.1 Materiales.....	27
3.1.1 Aceite de motor.....	27
3.1.2. Cemento asfáltico convencional.....	28
3.1.3 Asfaltos modificados.....	29
3.1.4 Agregados pétreos.....	31
3.2 Ensayo Marshall.....	32
3.3 Evaluación de las características mecánicas de una mezcla convencional y modificada con aceite de motor residual.....	33
3.3.1 Estabilidad y flujo	33
3.3.2 Resistencia a la tracción indirecta RTI.....	34
3.4 Características de adherencia – ensayo cántabro	35
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	36
4.1 Ensayo Marshall sobre la mezcla de control.....	36

4.2 Estabilidad y flujo de una mezcla convencional y modificada con aceite de motor..	37
4.2.1 Estabilidad.....	37
4.2.2 Flujo.	38
4.2.3 Rigidez.	38
4.2.4 Vacíos.....	39
4.3 Tracción indirecta.....	40
4.4 Cántabro	41
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
6. BIBLIOGRAFÍA	43
7. ANEXOS.	45

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 , Estado de algunos talleres informales para el mantenimiento vehicular en Colombia.....	2
Ilustración 2 , cifras del estado ambiental de 128 áreas urbanas de Colombia	4
Ilustración 3 , Composición del asfalto	8
Ilustración 4 , Clasificación de mezclas asfálticas por temperatura.	13
Ilustración 5 , Prácticas de disposición final de aceites usados.....	15
Ilustración 6 , Distribución del mercado de aceites en Colombia	15
Ilustración 7 , Características de los aceites usados en Colombia.....	16
Ilustración 8 , Contaminantes de aceites usados en Colombia.	17
Ilustración 9 , Riesgos y efectos derivados del mal manejo de aceites usados	19
Ilustración 10 , Efecto de los contaminantes presentes en los aceites usados en la salud humana	20
Ilustración 11 , Identificación y características peligrosidad de los aceites usados	21
Ilustración 12 , Aceite residual de motor.....	27
Ilustración 13 , Ensayo de penetración.....	30
Ilustración 14 , Ensayo de punto de ablandamiento.	30
Ilustración 15 , Curva granulométrica de MDC 19	32
Ilustración 16 , Estabilidad Marshall.....	33
Ilustración 17 , Estabilidad y flujo.....	33
Ilustración 18 , Ensayo tracción indirecta	34
Ilustración 19 , Ensayo cántabro.	35

Ilustración 20, Estabilidad - contenido de aceite residual de motor.....	37
Ilustración 21, Flujo - contenido de aceite residual de motor.	38
Ilustración 22, Estabilidad vs Flujo.	38
Ilustración 23, Estabilidad vs contenido de aire.	39
Ilustración 24, Flujo vs contenido de aire.	40
Ilustración 25, Tracción indirecta.	40
Ilustración 26, Desgaste cántabro.	41

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1, Antecedentes de la utilización de modificadores de asfaltos para fabricación de mezclas asfálticas	24
Tabla 2, Caracterización del cemento asfáltico 60/70	28
Tabla 3, caracterización física de los agregados.	31
Tabla 4, Densidades y vacíos en briquetas de control.....	36
Tabla 5, Promedio estabilidad y flujo para cada contenido de asfalto	36

INTRODUCCION

La contaminación ambiental es uno de los mayores problemas que se presenta a nivel mundial, los aceites usados son uno de los residuos contaminantes más abundantes que se generan actualmente, en Estados Unidos se consumen unos 7,6 millones de Tm/año de lubricantes, en Japón 2,2 millones, en la Unión Europea 4,7 millones y en España unas 500.000 Tm. La demanda mundial de aceites lubricantes llega aproximadamente a 40 millones de toneladas año. (Depuroil.sa, s.f.)

En la actualidad en Colombia se producen aproximadamente 25 millones de galones anuales de aceites usados y de los cuales se gestionan correctamente alrededor de 15 millones de galones (Ramírez, 2016) Dichos aceites tienen un manejo final inadecuado en su gran mayoría vertiéndose en alcantarillas, ríos y esparciéndose en el aire lo cual conlleva a diferentes alteraciones de salud en las personas.

El impacto ambiental también es generado por las mezclas asfálticas que presentan altos niveles de contaminación y a su vez, las mezclas asfálticas deben garantizar un grado mínimo de confianza para su utilización y proporcionar satisfacción a los usuarios garantizando mayor tiempo de vida útil del pavimento. En Colombia la producción de pavimentos va en aumento gradualmente teniendo en cuenta que el Estado apunta a garantizar al pueblo beneficios a través de la comunicación vial.

En Colombia, durante el periodo 2014 – 2015 se produjo aproximadamente 73 mil toneladas por mes para lograr el sostenimiento del programa 4G, dicha producción impacta de manera negativa en el medio ambiente.

A través de este proyecto se busca plantear una alternativa para la reincorporación del aceite de motor residual a su ciclo productivo mediante el análisis de ensayos de laboratorio que estudian la posibilidad de incorporar aceite de motor usado al asfalto. Es importante resaltar que a través de los ensayos realizados se busca introducir la mayor cantidad de aceite residual posible a la matriz de mezclas asfálticas, garantizando el cumplimiento de los requisitos especificados por la norma 450-13 de INVIAS.

1 GENERALIDADES

1.1 Línea de investigación.

Materiales.

1.2 Planteamiento del problema.

La producción de mezclas asfálticas anuales en Colombia generan alto nivel de contaminación debido a la expulsión de contaminantes atmosféricos y al consumo energético de combustibles fósiles.

Ilustración 1, Estado de algunos talleres informales para el mantenimiento vehicular en Colombia



Fuente: (Bogotá, 2016)

El daño ambiental también se relaciona de manera significativa con la disposición final inadecuada de aceites de motor, la cual en Colombia se regula actualmente bajo diferentes leyes y decretos para la disposición final de residuos tóxicos y peligrosos como lo son la Ley 253 de 1996, la ley 1252 de 2008, el decreto 283 de 1990 y el decreto 4741 de 2005.

leyes y decretos para la disposición final de residuos tóxicos y peligrosos como lo son la Ley 253 de 1996, la ley 1252 de 2008, el decreto 283 de 1990 y el decreto 4741 de 2005.

La implementación de las vías 4G en el país sugiere un incremento de los niveles de contaminación que aquejan actualmente a la población durante todo el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica; de la mano a este planteamiento debe tenerse en cuenta el aumento del consumo vehicular que se evidencia en la actualidad, basados en la importancia de estos dos factores para permitir y mejorar la comunicación y el transporte terrestre.

A través de los ensayos de laboratorio plasmados en este proyecto surgen los respectivos análisis y conclusiones para evaluar el comportamiento del asfalto al adicionar aceite de motor residual como alternativa para la reincorporación del aceite de motor residual al ciclo productivo.

1.3 Justificación

El avance tecnológico en infraestructura vial es de gran importancia para el desarrollo, mantenimiento y crecimiento económico de un país, mediante una investigación liderada por el profesor Carlos Sánchez Rojas se encontró que los hogares que se vieron beneficiados por intervenciones viales (ya sea construcción o reparación) les surgieron “oportunidades a nuevos mercados, permitiendo al hogar destinar su tiempo en labores no agrícolas con mayor retribución económica”. (ROJAS, 2016)

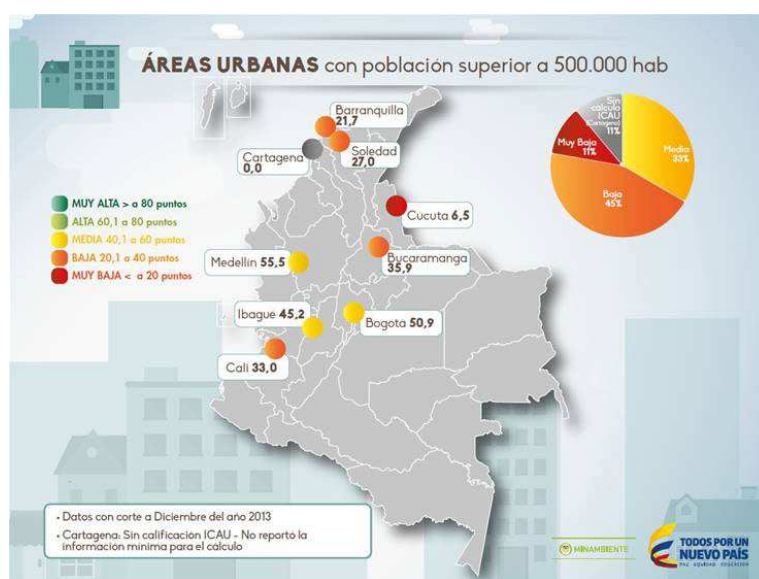
Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, cabe mencionar que es necesario aumentar la inversión sobre la infraestructura vial de Colombia para mejorar la calidad de vida de la población, lo cual debe realizarse teniendo en cuenta el índice de contaminación ambiental al que se enfrenta el país.

Sin embargo, trabajar en los procesos que involucra la elaboración de las vías y la finalidad para la cual son construidas implican mayor nivel de consumo por parte de la población que será beneficiada con dichas vías, por consiguiente se genera mayor nivel de contaminación

por el uso desmedido de vehículos, donde es importante mencionar la cantidad de aceite de motor que debe producirse para satisfacer las necesidades de consumo.

La ilustración número 1 evidencia la distribución geográfica y los niveles de contaminación a los que se ven enfrentados, donde se evidencia que en las áreas urbanas con más de 500.000 habitantes se reporta un nivel medio de contaminación.

Ilustración 2, cifras del estado ambiental de 128 áreas urbanas de Colombia



(Ambiente, 2015)

Para realizar un aporte ambiental también es necesario tener en cuenta el uso de los aceites de motor usados son residuos líquidos que son catalogados como riesgosos o peligrosos debido a que generan gran impacto negativo en el medio ambiente y en la salud poblacional, sin embargo dichos aceites pueden incluirse como una alternativa para la modificación de mezclas asfálticas y así dar un uso adecuado a este recurso.

Según la clasificación de aceites usados realizada por Waldyr Fong Silva, Edgar Quiñonez Bolaños, Candelaria Tejada Tovar en el año 2017, se conceptualiza que el aceite de motor usado contiene contaminantes volátiles (agua y combustible), solubles (aditivos de aceite), insolubles (partículas de carbono), óxidos de metales incluyendo óxido de plomo junto con

una gran cantidad de otras trazas metálicas, y detergentes. (Waldyr Fong Silva, Edgar Quiñonez Bolaños, Candelaria Tejada Tovar., 2017)

Hace unos años Colombia reafirmó su compromiso con la gestión ambientalmente racional de los productos químicos, al acoger la décima reunión de la Conferencia de las Partes (COP10) del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su eliminación, que se llevó a cabo del 17 al 21 octubre de 2011 y en el año 2005 surgió el manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados donde definen que por su carácter de residuo peligroso, requiere especial atención y una preparación adecuada por parte de quienes intervienen en la operación.

Es necesario, por tanto, establecer los procedimientos básicos que deberán implementar las personas naturales o jurídicas que realicen el acopio de aceites lubricantes usados, con el fin de reducir los riesgos a la salud humana y al ambiente, garantizando la destinación adecuada de estos residuos (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2005)

La alcaldía de Bogotá en el año 2016 estableció que los riesgos generados por el inadecuado manejo de aceite usado se pueden ver reflejados en el aire, ya que 5 litros de aceite usado contaminan un volumen de aire equivalente al que respira un adulto en 3 años de vida. Además, este tipo de aceite al ser regado cubre la tierra de una película impermeable que destruye el humus vegetal y por lo tanto el suelo se vuelve infértil, causándole un daño medioambiental grave a la ciudad.

Sin embargo la eliminación de estos desechos no se ha logrado controlar de una manera adecuada, por lo cual es importante implementar una alternativa que permitan la reutilización de manera correcta de dichos aceites residuales dentro del sector productivo, lo cual reafirma la importancia potencializa la importancia de incluir este material dentro del proceso de producción del asfalto, donde contribuye directamente en la sociedad de manera transversal en las áreas de economía, salud y medio ambiente. (Bogotá, 2016)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar mediante ensayos de laboratorio las características físicas del cemento asfáltico y las características mecánicas y de adherencia de mezclas asfálticas modificadas con aceite de motor usado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar ensayos de laboratorio que permitan identificar las características físicas del cemento asfáltico convencional y del modificado con aceite de motor usado.
- Realizar ensayos de laboratorio que permitan identificar las características mecánicas y de adherencia de una mezcla asfáltica convencional y de mezclas asfálticas modificadas con aceite de motor usado.
- Determinar el contenido óptimo de aceite de motor usado que presente mejor desempeño en una mezcla asfáltica.

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1 Marco conceptual.

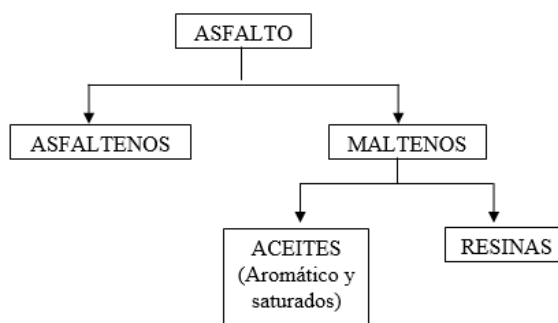
2.1.1 Asfalto y mezclas asfálticas.

2.1.1.1 Asfalto

Se define al asfalto o cemento asfáltico como “un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfáltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo”.

Composición química y física del asfalto

El asfalto posee características tanto químicas como físicas, que son los elementos que le proveen todas sus particularidades y hacen de éste el producto esencial que es hoy en la industria de la construcción. Este cementante contiene tres importantes propiedades químicas: consistencia, pureza y seguridad, donde la primera se debe a su habilidad para fluir a diferentes temperaturas, esto en razón a que el asfalto es un material termoplástico, es decir, se fluidifica a altas temperaturas. La segunda define la composición química del asfalto, donde las impurezas de éste, son prácticamente inertes. La tercera precisa el comportamiento de afinidad química con las diferentes cargas eléctricas. De la misma manera, dentro de su composición química contiene características de aglutinación, esto debido a su constitución principalmente de asfáltenos y máltenos, (ilustración 3) que son los elementos que le proporcionan dichas particularidades; este último define la capacidad del asfalto para ser manejado a altas temperaturas con seguridad. (Institute., 1989)

Ilustración 3, Composición del asfalto**Fuente:** (Institute., 1989)**Propiedades reológicas y caracterización del asfalto.**

Las propiedades reológicas del asfalto dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes, las cuales varían de acuerdo con el origen de los crudos de petróleo. El comportamiento reológico del ligante tiene una influencia significativa en las propiedades de la mezcla asfalto-agregado (ahuellamiento, fatiga y susceptibilidad térmica).

- **Punto de ablandamiento:** (INVIAS, INVIAS E 712 - 2013, 2013)

Definición: Punto de ablandamiento en el aparato de anillo y bola, medida en el líquido del baño, en el instante en que se produce el contacto entre la masa bituminosa y la placa de referencia, en las condiciones descritas en esta norma.

Objeto: Determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30 a 157°C.

Método: Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de latón, se calientan a una velocidad controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor medio de las

temperaturas a las cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para que cada bola envuelta en material bituminoso caiga a una distancia de 25 mm.

- Penetración: (INVIAS, E 706 - 13)

Definición: Consistencia de un material bituminoso expresada por medio de la distancia, en decimas de milímetro, hasta la cual penetra verticalmente una aguja normalizada en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C, durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g; se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

Objeto: Determinación de la consistencia de los materiales bituminosos solidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

Método: Se derrite una muestra del producto bituminoso (si al inicio se encontraba a temperatura ambiente) y se deja enfriar de manera controlada. Posteriormente, empleando un penetrometro con una aguja normalizada se penetra la muestra bajo unas condiciones especificadas.

- Índice de penetración: (INVIAS, 724- 2013)

Definición: Se calcula a partir de los valores de la penetración a 25°C y del punto de ablandamiento con anillo y bola y proporciona un problema de medida de la susceptibilidad térmica de estos materiales y de su comportamiento reologico.

Método: Se basa en aceptar que a la temperatura del punto de ablandamiento la penetración de un cemento asfaltico es de 800 y que los valores de la penetración en función de la temperatura se representan por una línea recta, si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración.

- **Viscosidad** (INVIAS, 716 Y 717)

Definición: procedimiento que se debe seguir para medir la viscosidad aparente del asfalto a elevadas temperaturas, desde 60° a 200°C, usando un viscosímetro rotacional equipado con un sistema termosel.

Método: Este método de ensayo ha sido usado para medir la viscosidad aparente de asfaltos al aplicar temperatura. La medida de viscosidad a altas temperaturas ha sido usada para determinar la manejabilidad y facilidad de bombeo en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas de temperatura contra viscosidad, los cuales se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño y construcción de mezclas asfálticas en caliente

- **Ductilidad** (INVIAS, 702-2013)

Definición: La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura. (CIVIL, 2011)

- **Solubilidad** (INVIAS, 713 - 2013)

Definición: Es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra sumergida en un solvente en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbono libre, y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven si no que se depositan en forma de partícula.

- **Contenido de agua:** (INVIAS, 704 - 2013)

Determina el contenido de agua de los materiales asfálticos; este proceso está basado en la destilación a reflujo de una muestra del material asfáltico, junto con un solvente volátil no miscible con el agua, el cual, al evaporarse, facilita el arrastre del agua presente, separándose de ella al condensarse.

- **Puntos de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland:** (INVIAS, 709 - 2013)

Con este ensayo se busca determinar los puntos de inflamación y de combustión de productos de petróleo, empleando una copa abierta de Cleveland de manejo manual o automático., el método es aplicable a todos los productos de petróleo con puntos de inflamación por encima de 79° C (175° F) y por debajo de 400° C (752°C), con excepción de los fuel- oils.

- **Determinación del contenido de parafinas en ligantes asfálticos:** (INVIAS, 718 - 2013)

Esta norma describe un método para determinar el contenido de parafinas en los ligantes asfálticos. El contenido de parafinas se determina después de la extracción de los asfáltenos con destilado ligero de petróleo, y de la extracción con ácido sulfúrico fumante de la mayor parte los componentes aromáticos.

2.1.1.2 Mezclas asfálticas.

Las mezclas bituminosas o (asfálticas, que también reciben el nombre usualmente la denominación aglomerados, están formadas por una combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de este. Se fabrican de forma mecánica en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Carlos Kraemer, 2004)

Están formadas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Características de las mezclas asfálticas.

Las características más principales en una mezcla asfáltica son:

Estabilidad: Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamiento, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Durabilidad: Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.

Impermeabilidad: Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

Flexibilidad: Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

Resistencia a la fatiga: Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada

Clasificación de las mezclas asfálticas.

- **Por fracciones de agregado pétreo empleado.**

Masilla Asfáltica: Polvo mineral más el ligante.

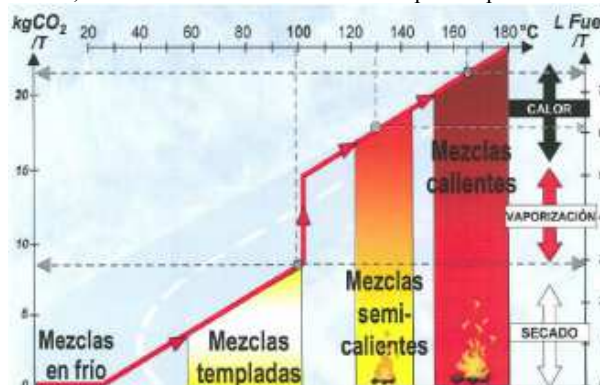
Mortero Asfáltico: Agregado fino más masilla.

Concreto Asfáltico: Agregado grueso más mortero.

Macadam Asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

- **Por la temperatura puesta en obra.**

Ilustración 4, Clasificación de mezclas asfálticas por temperatura.



Fuente: (Perez, 2018)

- **Por el tamaño máximo del agregado pétreo.**

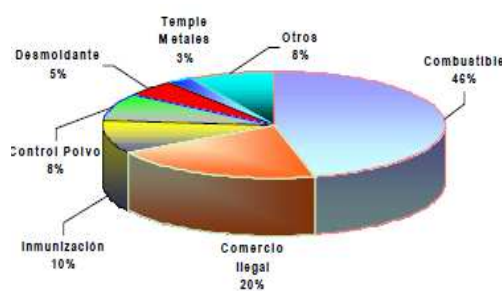
Mezclas Gruesas (El tamaño máximo del agregado pétreo excedo los 10 mm) y Mezclas Finas o Micro aglomerados (Formadas básicamente por agregado fino, polvo mineral y ligante asfáltico). (INGENIEROS, 2015)

- **Por la granulometría.**

Se clasifican en: Mezclas Continuas (Cantidad bien distribuida de agregados pétreos en la granulometría) y Mezclas Discontinuas (Cantidad limitada de tamaños de agregado pétreo en la granulometría) (INGENIEROS, 2015)

2.2 Aceites usados

En el país se generaran anualmente grandes volúmenes de aceites usados, provenientes del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso y aceites de transformadores, entre otros. Esto llevó a emprender un análisis cualitativo y cuantitativo de las diferentes actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación, almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final), encontrándose resultados inquietantes que atañen al sector energético por las prácticas de disposición final, ya que los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada y sin tratamiento, por la pequeña y mediana industria colombiana. (MINERO-ENERGÉTICA, 2001)

Ilustración 5, Practicas de disposición final de aceites usados

(MINERO-ENERGÉTICA, 2001)

Producción y venta de aceites lubricantes en Colombia.

El 95% de los aceites lubricantes es producido por empresas multinacionales afiliadas a la Asociación Colombiana del Petróleo -ACP, Chevron, Texaco, ExxonMobil, Petrobras, Castrol, y por las empresas nacionales Terpel y Brío. El 5% restante corresponde a producción de otros productores nacionales que no reportan a ninguna entidad, ni tienen alguna agremiación que les agrupe¹. Del 95 % generado por las multinacionales, se ha establecido la distribución de mercado en diferentes segmentos de consumo, como se muestra en la tabla 3.

Ilustración 6, Distribución del mercado de aceites en Colombia

SEGMENTO	PORCENTAJE
Industrial	13%
De proceso	19%
Automotor	68%

(Ambiente, 2015)

Características de los aceites usados.

Las propiedades de los aceites usados dependen prioritariamente de las propiedades de las bases lubricantes de las cuales se derivan, de los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a altas temperaturas.

Además, como resultado del servicio prestado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos. Análisis realizados por Lahcorp1, así como por Lupien Rosenberg et Associates, demuestran que los aceites usados presentan como características típicas. (MINERO-ENERGÉTICA, 2001).

Ilustración 7, Características de los aceites usados en Colombia

CARACTERISTICAS	AUTOMOTOR
Viscosidad a 40°C, SSU	97-120
Gravedad 15.6°C, °API	19-22
Peso Específico a 15.6°C	0.9396-0.8692
Agua, % Vol.	0.2-33.8
Sedimentos, %Vol.	0.1-4.2
Insolubles en Benceno, % peso	0.56-33.3
Solubles en gasolina, % vol.	2.0-9.7
Punto de ignición, °C	78-220
Poder Calorífico, MJ/kg	31.560-44.880

Fuente: (MINERO-ENERGÉTICA, 2001)

Elementos presentes en los aceites usados.

Sus características de peligrosidad varían según los procesos o equipos en que se hayan utilizado. Entre sus posibles componentes peligrosos se encuentran: el plomo, el cloro, el bario, el magnesio, el zinc, el fósforo, el cromo, el níquel, el aluminio, el cobre, el estaño, el azufre y los hidrocarburos aromáticos polinucleares, entre otros, los cuales si se liberan o manejan inadecuadamente pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente. Esto, debido a la bioacumulación y a sus efectos tóxicos en los sistemas bióticos, que repercuten en la salud humana y en los recursos naturales. (Ambiente, 2015).

Ilustración 8. Contaminantes de aceites usados en Colombia.

TRATAMIENTO DE SEPARACION		
CONTAMINANTES	ANTES	DESPUÉS
Cloro, %w	0.17-0.47	0
S, , %w	0.17-1.09	0
Zn, ppm	260-1787	Trazas
Ca, ppm	211-2291	Trazas
Ba, ppm	9-3906	Trazas
P, ppm	319-1550	0
Pb, ppm	85-21676	Trazas
Al, ppm	0.6-758	0
Fe, ppm	97-2411	Trazas

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011)

Generalidades de los aceites usados

Con el uso, los aceites con base mineral, sintética o semi-sintética acumulan contaminantes que se degradan y hacen que los aceites pierdan sus características y cualidades originales. Ante esta situación, se hace necesaria la sustitución por aceites nuevos generándose de esa forma el residuo conocido como aceite usado, que debe ser gestionado integralmente hasta el aprovechamiento o valorización y eliminación.

Los aceites usados más conocidos generados en la actualidad, provienen del uso de:

- Aceite sintético.
- Líquido para transmisión.
- Aceite de motor
- Aceite de refrigeración.
- Fluidos y aceites en empresas metalúrgicas.
- Aceite para compresores.
- Aceites para laminar.
- Líquidos hidráulicos industriales.
- Soluciones para el trefilado de cobre y aluminio.
- Aceite de aislamiento eléctrico.

- Aceites utilizados como medio de flotación.
- Aceites de procesos industriales.

Según información del Fondo de Aceites Usados -FAU3, al comparar los volúmenes de aceite usado aprovechado y dispuesto correctamente por operadores avalados por el FAU a través de los años y el volumen total de aceite usado generado en el país, se encuentra que se ha venido incrementando cada año el porcentaje de recolección del aceite usado con base en los planes de manejo de aceite usado que desarrollan sus afiliados con los operadores. Así, para el año 2008 fue del 24,2%, para el año 2009 del 31,7%, para el año 2010 del 45%, para el año 2011 del 47,2%, en el año 2012 del 53% y se proyectaba para el año 2013 un 56%.

El total de ese aceite usado recuperado es convertido en combustibles secundarios con destino a la industria ya sea con o sin mezclas con otros combustibles tradicionales. De igual forma, la totalidad de estos aceites usados son tratados en procesos de recuperación energética. (Ambiente, 2015)

Efectos ambientales de los contaminantes presentes en los aceites usados

Los efectos sobre la salud por la exposición a cualquier sustancia peligrosa van a depender de la dosis, la duración y el tipo de exposición, la presencia de otras sustancias químicas y, de las características y los hábitos de la persona. El ser humano se expone a una sustancia cuando entra en contacto con ésta, al inhalar, comer o beber la sustancia, o por contacto con la piel. Los factores que determinan si la exposición al aceite usado afecta la salud humana incluyen la dosis, la duración de la exposición y la manera como se entró en contacto con la sustancia. También se deben considerar: las otras sustancias químicas a las que se está expuesto, la edad, el sexo, la dieta, las características personales, el estilo de vida y la condición de salud. El aceite usado conserva muchas de las características del aceite en su estado original; contiene hidrocarburos alifáticos de cadena lineal e hidrocarburos polícíclicos aromáticos (PAH), los cuales se destilan del petróleo crudo, y varios aditivos para

mejorar el rendimiento del aceite en el motor. Respecto a los hidrocarburos aromáticos presentes en el aceite usado, es importante considerar que estos tienen propiedades similares al benceno. (Ambiente, 2015).

Ilustración 9, Riesgos y efectos derivados del mal manejo de aceites usados

RECURSO	EFFECTOS
AIRE	El aceite lubricante usado que se quema bajo condiciones no controladas puede emitir más plomo al aire que cualquier otra fuente industrial. Los compuestos aromáticos policíclicos constituyentes de los aceites usados pueden evaporarse o tener transformaciones fotoquímicas que los descomponen en gases o partículas que se incorporan a la atmósfera.
AGUA	Los vertimientos a cuerpos de agua forman una película sobre la superficie ocasionando daños a los organismos además de perjudicar la transferencia de oxígeno y producir efectos tóxicos sobre organismos, como algas y peces.
SUELO	El contacto con el suelo de componentes no biodegradables, presentes en aceites lubricantes usados destruye el humus vegetal, alterando la fertilidad de los suelos y generando alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Guía técnica para el manejo de aceites industriales usados – Chile, 2007.

Ilustración 10, Efecto de los contaminantes presentes en los aceites usados en la salud humana


CONTAMINANTE	EFFECTO EN LA SALUD HUMANA
PLOMO	El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro de las funciones del sistema nervioso. También puede producir debilidad en los dedos, las muñecas y los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2007)
CROMO	Respirar niveles altos de cromo puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2012).
ALUMINIO	La exposición al aluminio generalmente no es perjudicial, pero la exposición a cantidades altas puede afectar la salud. Algunas personas con enfermedades del riñón acumulan gran cantidad de aluminio en sus cuerpos y pueden desarrollar enfermedades de los huesos o del cerebro que pueden deberse al exceso de aluminio (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2008).
NITROBENCENO	Una pequeña cantidad de nitrobenceno puede causar leve irritación si entra en contacto directo con la piel o con los ojos. Las exposiciones repetidas a una alta concentración de nitrobenceno pueden producir metahemoglobinemia, condición en la cual la capacidad de la sangre para transportar oxígeno se reduce. Efectos tales como dolor de cabeza, irritabilidad, mareo, debilidad y somnolencia, pueden ocurrir. Hay evidencia que sugiere que respirar altas concentraciones de nitrobenceno puede dañar el hígado. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 1999).
COBRE	Los niveles altos de cobre pueden ser dañinos. La inhalación de niveles altos de cobre puede producir irritación de la nariz y la garganta. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2004).
ZINC	La inhalación de grandes cantidades de polvos o vapores de zinc puede producir una enfermedad de corta duración llamada fiebre de vapores de metal. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2005).
CLORO	La exposición a niveles bajos de cloro puede producir irritación de la nariz, la garganta y los ojos. La exposición a niveles más altos puede producir tos y alteraciones del ritmo respiratorio y daño de los pulmones. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2010).
BIFENILOS POLICLORADOS (PCB)	El efecto que se observa más comúnmente en gente expuesta a grandes cantidades de PCB son efectos en la piel como acné o sarpullido. En estudios en trabajadores expuestos se han observado alteraciones en la sangre y la orina que pueden indicar daño al hígado (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades-ATSDR, 2001).

Fuente: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) - Atlanta E.U., 2010.

Identificación y características de peligrosidad de los aceites usados

Los aceites usados se identifican como peligrosos de acuerdo con los anexos I (por proceso o actividad) y II (por corriente de residuos), del Decreto 4741 de 2005. En la tabla 8 se detallan los aspectos relacionados con la identificación y características de peligrosidad de los aceites usados.

Ilustración 11, Identificación y características peligrosidad de los aceites usados

CODIFICACIÓN ANEXOS		DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA CRETIB* PICTOGRAMA DE IDENTIFICACIÓN
ANEXO I	ANEXO II		
Y8	A3020	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados	
Y9	A4060	Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.	

Fuente: Anexos I-II. Decreto 4741 de 2005 (Adaptado por OCADE)

2.2 Marco legal

En Colombia todo lo que concierne al mantenimiento, características, modificaciones y conservación de la infraestructura vial está normalizada por el INVIAS.

El presente proyecto se realizó teniendo en cuenta diferentes aspectos de las especificaciones establecidas por el INVIAS a través del documento técnico “Especificaciones generales de construcción de carreteras” la cual se encarga de fundamentar y reglamentar las especificaciones de mezclas asfálticas en caliente y sus criterios de diseño por el método Marshall, Artículo 450-13.

Decreto 283 de 1990 (Margarita Mena de Quevedo., 1990)

Por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carro tanques de petróleo crudo

Ley 253 de 1996 (JULIO CESAR GUERRA TULENA. Presidente del Senado de la Republica, 1996)

Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

Resolución 1188 De 2003 (Secretaria juridica y Distrital , 2003)

Adopta en todas sus partes el Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados en el Distrito Capital, el cual contiene los procedimientos, obligaciones y prohibiciones a seguir por los actores que intervienen en la cadena de la generación, manejo, almacenamiento, recolección, transporte, utilización y disposición de los denominados aceites usados, con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad y proteger la vida, la salud humana y el medio ambiente.

Decreto 4741 de 2005 (Alvaro Uribe Velez, 2005)

Tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.

Ley 1252 de 2008 (Congreso de la Republica, 2008)

Regula dentro del marco de la gestión integral velando por la protección de la salud humana y el ambiente, todo lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos en el territorio nacional, según lo establecido en el Convenio de Basilea y sus anexos, asumiendo la responsabilidad de minimizar la generación de residuos peligrosos en la fuente, optando por políticas de producción más limpia; proveyendo la disposición adecuada de los residuos peligrosos generados dentro del territorio nacional, así como la eliminación responsable de las existencias de estos dentro del país. Así mismo, se regula la infraestructura

de la que deben ser dotadas las autoridades aduaneras y zonas francas y portuarias, con el fin de detectar de manera eficaz la introducción de estos residuos.

2.4 Estado del arte.

Con el fin de mitigar el impacto ambiental, la industria del asfalto ha realizado diferentes investigaciones; dentro de estas investigaciones se encuentra como alternativa la adición de productos, sustitutos o modificadores residuales para la fabricación de pavimentos asfálticos cuya finalidad es incorporar al ciclo productivo insumos que ya han cumplido con su función, muchos de estos desechos actualmente se disponen de forma inapropiada y generan un daño directo al ambiente y a la salud de la población.

En la (Tabla 3) se presenta un análisis corto de algunas investigaciones realizadas a asfaltos modificados con desechos y aceites residuales de diferentes tipos con el fin de disminuir las temperaturas de fabricación y aplicación de las mezclas asfálticas e impactar positivamente al ambiente.

Tabla 1, Antecedentes de la utilización de modificadores de asfaltos para fabricación de mezclas asfálticas

Año	Tema	Conclusiones	Autor
2008	Modificación del asfalto con aceite lubricante usado en Superpave	Se concluyó que a bajas temperaturas ambientales la adición de aceite lubricante de motor disminuye la temperatura de aplicación de Superpave en 25°C, pero cuando la aplicación se realiza a altas temperaturas ambientales la reducción de la temperatura de aplicación no es significativa, además se encontró que la aplicación de aceites lubricantes pueden ser perjudicial sobre la calidad del asfalto por la reducción de la adhesión de éste con los agregados, lo que puede ocasionar desprendimientos.	Aaron Villanueva, Susanna Ho, and Ludo Zanzotto
2012	Investigación de la posibilidad de utilizar aceite de cocina usado como agente rejuvenecedor. para betún envejecido	<ul style="list-style-type: none"> En este estudio, el aceite de cocina usado se comporta como un antioxidante o Rejuvenecedor en betún endurecido por la edad. Por observación de un método de envejecimiento no convencional (MEZCLADOR), Se puede concluir que el contenido de aceite de cocina de 3 a 4% de residuos puede rejuvenecer. El betún envejecido del grupo 40/50 para satisfacer todas las necesidades físicas y Pruebas reológicas a un nivel comparable al original. Betún 80/100. El betún rejuvenecido tiene menos tendencia al envejecimiento a corto plazo, correlacionada a la relación física, reológica y química, en comparación betún virgen 	Majid Zargar, Esmacil Ahmadinia, Hallizza Asli, Mohamed Rehan Karim

Año	Tema	Conclusiones	Autor
2013	Evaluación de laboratorio de bioasfalto a base de aceite de cocina como un aglutinante alternativo para mezcla asfáltica caliente	<ul style="list-style-type: none"> La adición de bioasphalt aumentó el valor Jnr de la base aglutinante, lo que indica una mayor susceptibilidad del aglutinante a la formación de depósitos La adición de bioasfalto en la HMA redujo el módulo dinámico de la mezcla. Los hallazgos en este estudio se basan en el bioasfalto hecho de residuos de aceite de cocina. Se necesita más investigación para estudiar el rendimiento de campo y bioasfalto utilizando diferentes agregados. La interacción entre el bioasphalt y la modificación existente, si la hay, y la fase La separación durante el almacenamiento a largo plazo también debe ser estudiada. 	Haifang Wen, M.ASCE; Sushanta Bhusal; and Ben Wen
2014	Propiedades a alta temperatura del rejuvenecedor aglutinante recuperado con rejuvenecedor, residuos de cocina y aceites de semillas de algodón	<p>La adición de R o O o W redujo el factor de resistencia al encorvamiento del aglutinante asfáltico rejuvenecido independientemente de las fuentes de aglutinante envejecido. Bajo la misma condición, la resistencia al celo. El asfalto que contiene R fue mejor que el asfalto que contiene W u O. El asfalto regenerativo que contiene 5% de W o 5% de O podría disminuir significativamente la resistencia a la formación de depósitos</p> <p>Factor del envejecimiento del asfalto al valor del asfalto virgen.</p>	Meizhu Chen a, Feipeng Xiao Bradley Putman, Bingbing Leng, Shaopeng Wua
2016	Usos del aceite de palma y sus derivados oleoquímicos en la industria de los pavimentos	<p>La industria de la palma de aceite colombiana tiene una gran oportunidad para incursionar en el sector de los pavimentos flexibles, tanto con los productos básicos que ya produce, como con el desarrollo de nuevos productos, a fin de aprovechar el auge de las inversiones en infraestructura del país.</p> <p>Actualmente en Colombia se está adelantando la construcción de una planta de producción de emulgentes y aditivos multifuncionales para la industria de los pavimentos, la cual requerirá aceite de palma y de palmiste o sus derivados oleoquímicos para su producción. Además, Fedepalma, Pavimentar S.A. y Corasfaltos adelantan un proyecto de pavimentación de un tramo de 100 metros de largo con mezcla tibia aditivada con aceite de palma crudo.</p>	Luis Enrique Sanabria Grajales

Año	Tema	Conclusiones	Autor
2017	evaluación de la resistencia mecánica de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceites lubricantes usados	Las temperaturas óptimas de mezcla y compactación de mezclas asfálticas elaboradas con asfalto modificado con aceite usado disminuyen a medida que se va adicionando aceite al asfalto, por lo que se pueden catalogar como mezclas tibias, lo cual puede disminuir los costos energéticos para la fabricación de pavimentos y aumentar las distancias a las que se pueden transportar	Diana Constanza Cárdenas Villamizar
2018	Influencia de aceite de desecho del motor en las propiedades químicas y reológicas. de diferentes carpetas de asfalto	Los espectros infrarrojos ilustran que WEO tiene funcional similar Grupos como el asfalto. Por lo tanto, no hay reacciones químicas. Se observan cuando WEO se mezcla con asfalto. El análisis cuantitativo muestra que el asfalto modificado con WEO tiene una menor Cantidad de grupos funcionales carbonilo y mayor cantidad. De los grupos funcionales sulfóxido.	Shengjie Liu y otros.

Fuente: Adaptación propia

3. METODOLOGIA

3.1 Materiales.

A continuación serán descritos los materiales que fueron utilizados para el desarrollo de la presente investigación.

3.1.1 Aceite de motor.

Se utilizó un aceite residual de motor proveniente del almacenamiento de una cervatica del municipio del Espinal Tolima.

Ilustración 12, Aceite residual de motor.



Fuente: Propia.

3.1.2. Cemento asfáltico convencional.

En la tabla 2 se presenta la caracterización del cemento asfáltico 60/70. El cual cumple con las especificaciones de mezclas asfálticas.

Tabla 2, Caracterización del cemento asfáltico 60/70

CARACTERÍSTICAS	NORMA DE ENSAYO INV	GRADOS DE PENETRACIÓN	
		60 - 70	
		MÍN	MAX
Asfalto original			
Penetración (25°C, 100 g, 5 s), 0,1 mm	E-706	60	70
Punto de ablandamiento, °C	E-712	48	54
Índice de penetración	E-724	-1,2	+0,6
Viscosidad absoluta (60° C)	E-716 o	150	-
	E-717	0	
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	E-702	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	E-713	99	-
Contenido de agua	E-704	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	E-709	230	-
Contenido de parafinas, %	E-718	-	3
Asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo INV E-720			
Pérdida de masa por calentamiento, %	E-720	-	0,8
Penetración del residuo luego de la perdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original	E-706	50	-
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720).	E-712	-	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60° C) del asfalto residual y el asfalto original	E-716 o E-717	-	4

Fuente: (INVIAS, 2013)

3.1.3 Asfaltos modificados.

Durante la preparación de los asfaltos modificados con aceite de motor, inicialmente se pesó la cantidad requerida del asfalto 60-70 usando una balanza digital, posteriormente se calentó a una temperatura de 150°C que se mantuvo, garantizando que todo el asfalto esté totalmente fluidizado; luego usando la balanza se pesó la cantidad de aceite residual de motor requerido y se agregó al asfalto caliente, mezclándolo durante 5 minutos.

- Muestra 1: CA 60-70 (Control)
- Muestra 2: CA 60-70 + 1% de AMU
- Muestra 3: CA 60-70 + 2% de AMU
- Muestra 4: CA 60-70 + 5% de AMU
- Muestra 5: CA 60-70 + 10% de AMU

Ensayos de penetración y punto de ablandamiento realizados con cada muestra.

Penetración de los materiales Bituminosos (INV E-706-13).

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones de finidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

Ilustración 13, Ensayo de penetración.



Fuente: Propia

Punto de ablandamiento de materiales Bituminosos (INV E-712-13).

Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de latón, se calientan a una velocidad controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor medio de las temperaturas a las cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para que cada bola envuelta en material bituminoso caiga una distancia de 25mm (1").

Ilustración 14, Ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Propia.

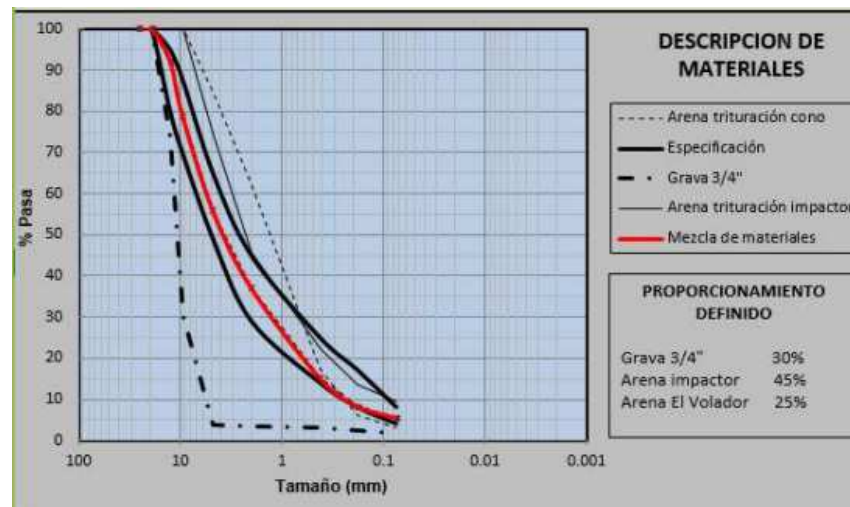
3.1.4 Agregados pétreos.

Los agregados fueron provenientes de la cantera de CONCRESCOL del río Coello del departamento del Tolima. En la tabla xx se presenta los resultados de caracterización física de los agregados para una mezcla asfáltica densa caliente MDC19 INVIAS 2013.

Tabla 3, caracterización física de los agregados.

Ensayo		Norma	Unidad	Especificación	Resultado
AGREGADO GRUESO					
AGREGADO 3/4"					
DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES		E-218	%	25	18.66
DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL		E-238	%	20	23.9
CARAS FRACTURADAS		E-227	%	85	91
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	Peso específico aparente seca	E-223	g/cm3	-	2.66
	Peso específico aparente sss	E-223	g/cm3	-	2.68
	Peso específico aparente nominal	E-223	g/cm3	-	2.73
	Absorción	E-223		-	1.03
AGREGADO 1/2"					
DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES		E-218	%	25	21.77
DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN EN EL EQUIPO MICRO-DEVAL		E-238	%	20	23.6
CARAS FRACTURADAS		E-227	%	70	84
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	Peso específico aparente seca	E-223	g/cm3	-	2.65
	Peso específico aparente sss	E-223	g/cm3	-	2.68
	Peso específico aparente nominal	E-223	g/cm3	-	2.72
	Absorción	E-223		-	0.99
AGREGADOS FINOS					
EQUIVALENTE DE ARENA		E-133	%	50	87
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	Peso específico aparente seca	E-223	g/cm3	-	2.58
	Peso específico aparente sss	E-223	g/cm3	-	2.63
	Peso específico aparente nominal	E-223	g/cm3	-	2.72
	Absorción	E-223		-	2.04

Ilustración 15, Curva granulométrica de MDC 19



Fuente: caracterización de diseño mezcla asfáltico mdc-19, mezcla asfáltica asfalto modificado con grano caucho de llanta grc y mezcla asfáltica grc con polímeros

3.2 Ensayo Marshall.

Inicialmente fueron fabricadas 45 briquetas Marshall (9 muestras x 5 porcentajes de asfalto), compactadas a 75 golpes por cara con dimensiones de 4" de diámetro y 2.5" de altura, siguiendo los lineamientos establecidos por la especificación (INVIAS, 2013). Estas briquetas denominadas de control, emplearon el AC 50-70 y LS como agregado pétreo. Como granulometría de referencia se utilizó la denotada en la Figura 15. Las temperaturas de compactación y de mezcla fueron de 135°C y 140°C, respectivamente. Estas temperaturas fueron obtenidas con base en el criterio establecido por la especificación para mezclas del tipo denso y en caliente (la viscosidad requerida para obtener las temperaturas de mezcla y compactación es de 85 ± 15 SSF - 170 cP y 140 ± 15 SSF - 280 cP, respectivamente). Sobre todas las muestras fue llevado a cabo el ensayo Marshall INVIAS 450-13 con el fin de obtener la composición volumétrica de las mezclas (porcentaje de vacíos con aire – Va, en los agregados minerales – VMA y llenos de asfalto – VFA) y la resistencia bajo carga monotónica (estabilidad – S) y Flujo a 60°C. Con base en los resultados obtenidos en esta fase se escogió el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar para la ejecución de las fases posteriores.

Ilustración 16, Estabilidad Marshall



Fuente: Propia.

3.3 Evaluación de las características mecánicas de una mezcla convencional y modificada con aceite de motor residual.

3.3.1 Estabilidad y flujo

Se realizó la estabilidad y flujo con un contenido óptimo de 5.3% de asfalto, con 3 briquetas para cada contenido de aceite.

Ilustración 17, Estabilidad y flujo



Fuente: Propia

3.3.2 Resistencia a la tracción indirecta RTI.

Empleando el contenido óptimo de asfalto determinado en el ensayo Marshall se fabricaron 3 briquetas Marshall para cada tipo de mezcla, con el fin de medir la resistencia a tracción indirecta por compresión diametral siguiendo los lineamientos establecidos por la norma (INVIAS, 2013) (Figura 18). Cada cuerpo de prueba fue sometido a la aplicación de carga monotónica a una velocidad de deformación de 50 mm/minuto hasta la ruptura. La temperatura de ensayo fue de 25 °C.

Ilustración 18, Ensayo tracción indirecta



Fuente: Propia

3.4 Características de adherencia – ensayo cántabro

Sobre 3 muestras Marshall por cada tipo de mezcla analizada fueron ejecutados ensayos de desgaste (sin carga abrasiva) en la máquina de los Ángeles, aplicando 300 vueltas a 33 revoluciones por minuto (ensayo Cántabro - NTL 352, ver ilustración 19). Las briquetas emplearon el contenido óptimo de asfalto determinado del ensayo Marshall. La temperatura de las muestras durante el ensayo fue de 25°C.

Ilustración 19, Ensayo cántabro.



Fuente: Propia

4. ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 Ensayo Marshall sobre la mezcla de control.

Parámetros volumétricos.

- Promedio de densidades y vacíos en briquetas control.

Tabla 4, Densidades y vacíos en briquetas de control

CA [%]	Densidad bulk [g/cm ³]	Vacíos [%]	VAM [%]	VFA [%]
4.5	2.255	6.20	16.22	61.81
5.0	2.272	4.79	16.01	70.14
5.5	2.284	3.60	16.02	77.50
6.0	2.285	2.86	16.41	82.58

Fuente: El Autor.

Tabla 5, Promedio estabilidad y flujo para cada contenido de asfalto

C A [%]	Estabilidad [kg]	E/F [kg/mm]	Estabilidad [kg]	E/F [kg/mm]	Flujo [mm]
4.5	1072.96	294.9	1033.26	284.0	3.64
5.0	1250.65	332.0	1225.64	325.3	3.77
5.5	1175.47	308.5	1169.60	306.9	3.81
6.0	1148.14	279.5	1153.88	280.9	4.11

Fuente: El Autor.

- Verificación de criterios por el método Marshall, asfalto convencional optimo 5.3 %.

CARACTERÍSTICA	CRITERIO NT3	VALORES ENSAYO	CONDICIÓN
COMPACTACIÓN (golpes/cara)	75	75	CUMPLE
ESTABILIDAD MÍNIMA (N)	9000	13740	CUMPLE
FLUJO (mm)	2.0 a 3.5	2.95	CUMPLE
RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (KN/mm)	3.0 a 6.0	4.66	CUMPLE

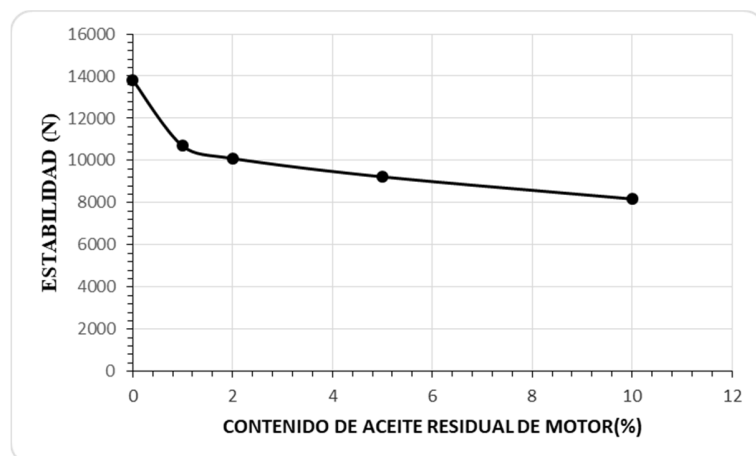
Fuente. Instituto nacional de vías - Invías. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Tabla 450-10.
Bogotá: Invías, 2013. p. 450-10.

4.2 Estabilidad y flujo de una mezcla convencional y modificada con aceite de motor.

4.2.1 Estabilidad.

Mediante los ensayos se observó que a medida que aumenta la concentración de aceite residual de motor en el asfalto, disminuyen los valores de estabilidad, debido a la disminución en la capacidad ligante del asfalto por el factor lubricante del aceite como se observa en la figura 20.

Ilustración 20, Estabilidad - contenido de aceite residual de motor

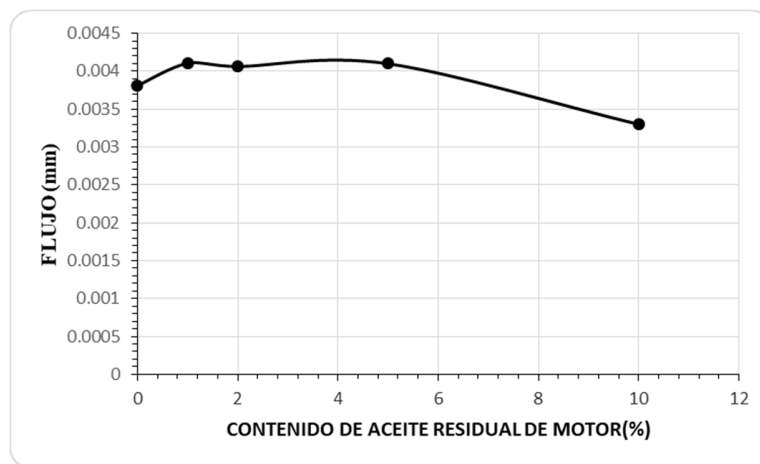


Fuente: Propia.

4.2.2 Flujo.

En la ilustración 21 se observa un aumento en la fluencia a medida que se adiciona aceite residual de motor al asfalto, debido a que el lubricante plastifica el asfalto hasta un punto donde genera fragilidad y alta deformación. Esta fragilidad se da por la pérdida de las fuerzas de cohesión entre el agregado y el asfalto.

Ilustración 21, Flujo - contenido de aceite residual de motor.

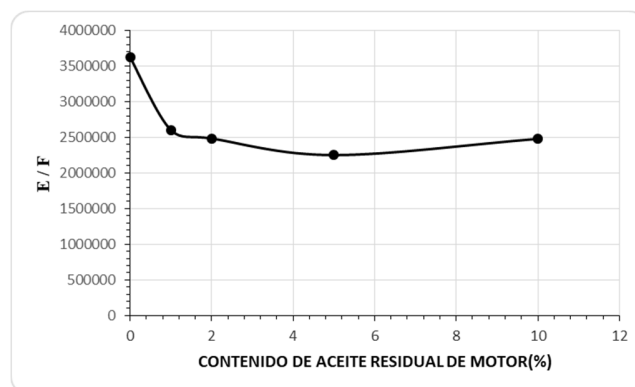


Fuente: Propia.

4.2.3 Rigidez.

Como se muestra en la ilustración 22, a mayor contenido de aceite residual de motor la rigidez disminuye.

Ilustración 22, Estabilidad vs Flujo.



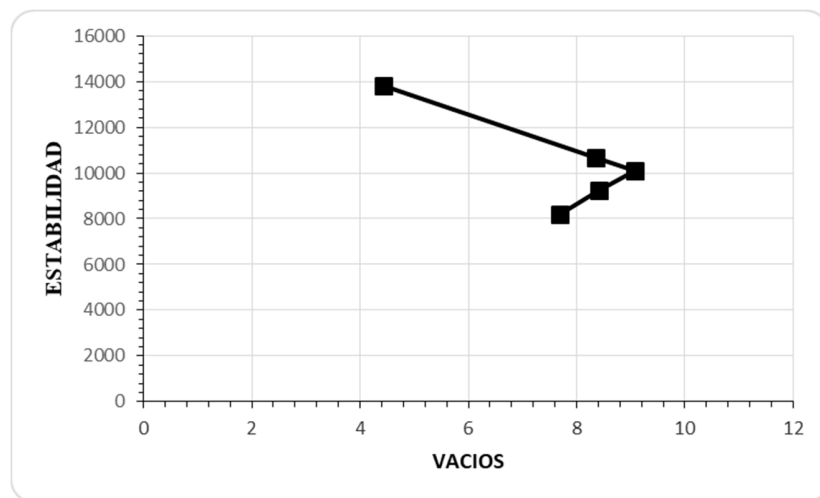
Fuente: Propia.

4.2.4 Vacíos.

- Estabilidad vs contenido de aire.

En la ilustración 23 se evidencia menor estabilidad a medida de que el contenido de vacíos aumente.

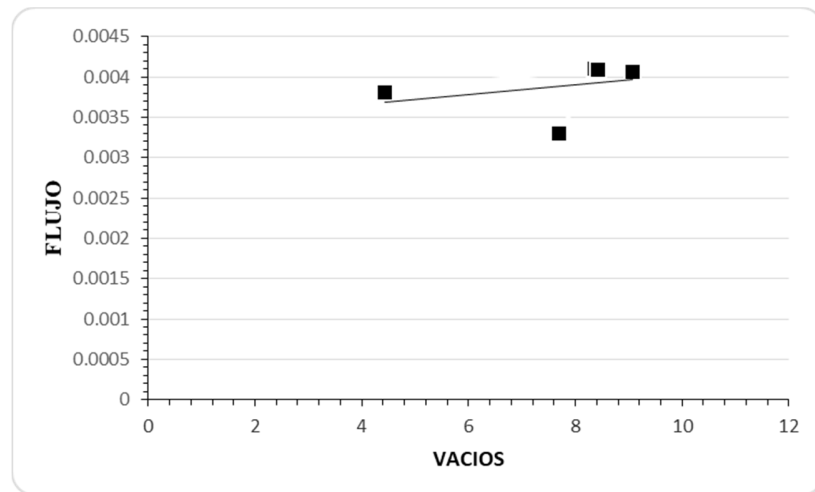
Ilustración 23, Estabilidad vs contenido de aire.



Fuente: Propia.

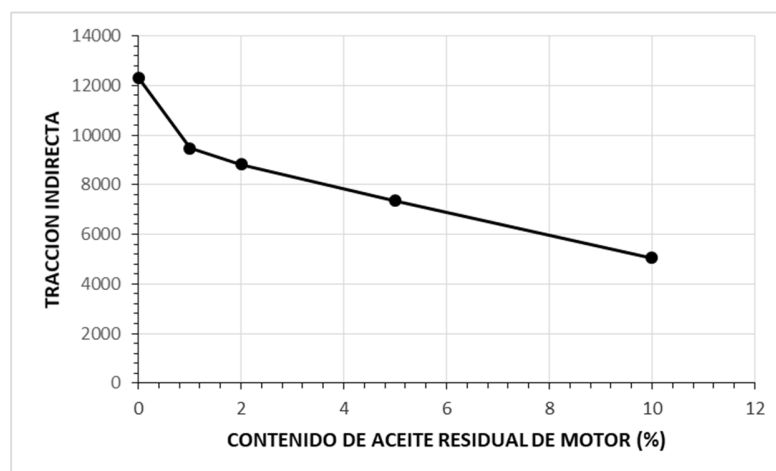
- Flujo vs contenido de aire.

Como se muestra en la ilustracion 24, el flujo tiene una tendencia de aumentar a medida de que aumenta el contenido de aire.

Ilustración 24, Flujo vs contenido de aire.**Fuente:** Propia.

4.3 Tracción indirecta.

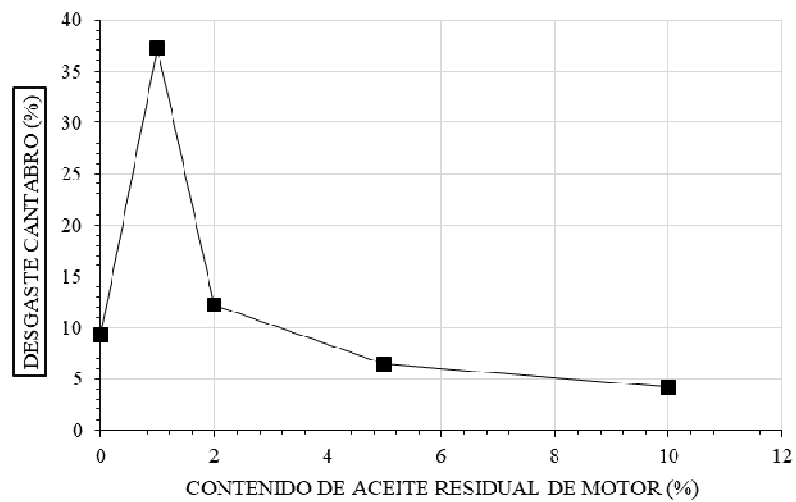
Mediante los ensayos se observó que a medida que aumenta la concentración de aceite residual de motor en el asfalto, disminuyen los valores tracción indirecta.

Ilustración 25, Tracción indirecta.**Fuente:** Propia.

4.4 Cántabro

En la ilustración 26, se puede evidenciar que a mayor contenido de aceite, el desgaste va disminuyendo, queriendo decir que en este caso el aceite residual de motor actúa de manera positiva en esta propiedad.

Ilustración 26, Desgaste cántabro.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- La técnica se debe de estudiar más sin embargo se observa que disminuye la tracción y la compresión pero se aumenta la adherencia a través del ensayo cántabro.
- Se recomienda analizar otras propiedades que estén más relacionadas con el comportamiento a la cual el pavimento va a estar sometido.
- El porcentaje recomendado en este proyecto oscila entre 5 y 10 porciento de contenido de aceite residual de motor para vías de bajo volumen de transito.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2011). Manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados. 80.
- Alvaro Uribe Velez. (30 de Diciembre de 2005). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y OBRAS PÚBLICAS*. Obtenido de DECRETO NÚMERO: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCIÓN+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTIÓN+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705>
- Ambiente, M. d. (25 de 10 de 2015). *Ministerio de ambiente*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2106-el-ministerio-de-ambiente-y-el-instituto-humboldt-lanzan-la-campana-naturaleza-en-edicion-limitada-2>
- Bogotá, A. M. (2016). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <http://www.bogota.gov.co/article/temas-de-ciudad/ambiente/sabe-que-hacen-los-talleres-mecanicos-con-los-aceites-lubricantes-usados>
- Carlos Kraemer. (2004). *Ingenieria de Carreteras*. Madrid: Amelia Nieva.
- CIVIL, I. (2011). *INGENIERIA CIVIL*. Obtenido de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/ductilidad-del-betun-asfaltico.html>
- Congreso de la Republica. (27 de Noviembre de 2008). *LEY 1252 DE 2008*. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/getattachment/d4d9d6c3-366a-4c79-8079-c9811f6216fc/2008L1252.aspx>
- D.C., A. M. (1 de Septiembre de 2003). *Regimen Legal de Bogota* . Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=9846>
- Depuroil.sa. (s.f.). *Control, reciclaje y mantenimiento de aceites industriales* . Obtenido de <http://www.euskalnet.net/depuroilsa/Riesgosmedioambiente.html>
- Hernandez, C. B. (26 de Noviembre de 2014). Obtenido de https://prezi.com/v5rzbn_t4t3u/propiedades-consideradas-de-las-mezclas-asfalticas/
- INGENIEROS, P. (2015). *PARIS INGENIEROS* . Obtenido de <http://parisingenieros.blogspot.com/2015/04/diseño-de-pavimentos-iii-clasificación.html>
- Institute., A. (1989). *The Asphalt Handbook, Manual Series* . Washington, D.C.
- INVIAS. (s.f.). 724- 2013.
- INVIAS. (2013). INVIAS E 712 - 2013. Colombia.
- INVIAS. (s.f.). 702-2013.
- INVIAS. (s.f.). 704 - 2013.
- INVIAS. (s.f.). 709 - 2013.

- INVIAS. (s.f.). 713 - 2013.
- INVIAS. (s.f.). 716 Y 717.
- INVIAS. (s.f.). 718 - 2013.
- INVIAS. (s.f.). E 706 - 13. Colombia.
- JULIO CESAR GUERRA TULENA. Presidente del Senado de la Republica. (09 de Enero de 1996). *Ley 253 de 1996*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0253_1996.html
- Margarita Mena de Quevedo. (30 de Enero de 1990). *DECRETO 0283 DE 1990*. Obtenido de <http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8807>
- MINERO-ENERGÉTICA, U. D. (2001). *TRANSFORMACION DE LOS ACEITES USADOS PARA SU*. Bogota D.C.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2005). Manual Técnico para el Manejo de Aceites lubricantes usados. Bogota D.C, Colombia.
- Perez. (2018). Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000100006
- Ramírez. (2016).
- Rodriguez, A. P. (2014). Mezclas Asfálticas . 26.
- ROJAS. (2016).
- Secretaria juridica y Distrital . (01 de Septiembre de 2003). *Resolución 1188 de 2003 Departamento Administrativo de Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=9846>
- Waldyr Fong Silva, Edgar Quiñonez Bolaños, Candelaria Tejada Tovar. (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su. *Prospect. Vol. 15*, 10.

7. ANEXOS.



TOMA DE DATOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-02 / IE-AF1-03 / EI-AF1-05 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 702-13 INV E 709-13 INV E 712-13

CÓDIGO ORDEN: _____

Fecha de Ensayo: 02-11-2018

Referencia: CEMENTO ASFALTICO 60-70

Descripción: MODIFICADO ACEITE MOTOR (QUEMADO)

I. DUCTILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS (INV E -702-13)

EQUIPO UTILIZADO (No de inventario)

Ductilómetro _____ Termómetro _____ Baño María _____

PRUEBA No.	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (mm/min)	Probeta No. 1 (cm)	Probeta No. 2 (cm)	Probeta No. 3 (cm)
1					
2					
3					

OBSERVACIONES: _____

II. PUNTO DE IGNICIÓN Y DE LLAMA MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND (INV E-709-13)

EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)

Equipo Copa Abierta de Cleveland _____ Termómetro _____

PRUEBA No.		1	2	3
Temperatura del punto de ignición	A [°F]	298°C		
Temperatura del punto de llama	A [°F]	310°C		

OBSERVACIONES: _____

III. PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE ANILLO Y BOLA (INV E-712-13)

EQUIPO UTILIZADO (No. De inventario)

Aparato de Anillo y Bola _____ Termómetro _____ Baño María _____

Placa de Calentamiento _____

ANILLO No.	Líquido utilizado	Punto de ablandamiento (°C)
1 – 1	AGUA DESTILADA	44.5 – 44.5°C
2 – 2	AGUA DESTILADA	39.0 – 39.5°C
3 – 3	AGUA DESTILADA	35.5 – 35.0°C
4-4	AGUA DESTILADA	333.0 – 33.5°C

OBSERVACIONES: 1 – 1 = 1% 2 – 2 = 2% 3 – 3 = 5% 4 – 4 = 10%

EJECUTO: LABORATORISTA

REVISOR: TECNÓLOGO



**TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS
SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO**

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-13

CÓDIGO ORDEN: _____

Fecha de Ensayo: 5-11-2018

EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)

Penetrómetro: X

Cronómetro: X

Baño de Agua: X

Termómetro: X

Referencia: CA = 60-70

Descripción: MODIFICADO 1% ACEITE DE MOTOR QUEMADO

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25	59	60	58
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: _____

Referencia: CA = 60-70

Descripción: MODIFICADO 2% ACEITE MOTOR QUEMADO

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25	70	69	71
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: _____

Referencia: 60-70

Descripción: MODIFICADO 5% ACEITE DE MOTOR

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25	85	83	87
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: _____

EJECUTO: LABORATORISTA

REVISOR: TECNÓLOGO



**TOMA DE DATOS GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS
SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS – MÉTODO DEL PICNÓMETRO**

INSTRUCTIVO DE ENSAYO: IE-AF1-04

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E 706-13

CÓDIGO ORDEN: _____

Fecha de Ensayo: 5-11-2018

EQUIPO UTILIZADO (No de Inventario)

Penetrómetro: X

Cronometro: X

Baño de Agua: X

Termómetro: X

Referencia: CA = 60-70

Descripción: MODIFICADO 10% ACEITE DE MOTOR QUEMADO

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1	25	140	143	145
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): 5 SEGUNDOS

OBSERVACIONES: _____

Referencia: _____

Descripción: _____

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): _____

OBSERVACIONES: _____

Referencia: _____

Descripción: _____

Molde	Temperatura (°C)	Penetración No.1(0.1 mm)	Penetración No. 2 (0.1 mm)	Penetración No. 3 (0.1 mm)
1				
2				

Carga (g): _____ Tiempo (s): _____

OBSERVACIONES: _____

EJECUTO: LABORATORISTA

REVISOR: TECNÓLOGO



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO	TESIS ESPECIALIZACIÓN ACEITE MOTOR		
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C		
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°C		
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES		
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL	Gs.A.PETREOS	2,64 - 2,52
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70	Gs. ASFALTO	1.012

Briqueta No.	MARSHALL									
	1	2	3	10	11	12	19	20	21	
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	
% Asfalto	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	
Altura Briqueta (cm)	6.29	6.31	6.14	6.45	6.39	6.62	6.5	6.6	6.6	
Paso briqueta en aire Seca (g)	1195.3	1200.7	1186	1193.6	1194.5	1196.8	1192.4	1195.9	1192.7	
Peso briqueta en aire SSS (g)	1196.3	1202.1	1186.2	1194.9	1196.3	1197.5	1195.1	1198.4	1197.7	
Peso briqueta en agua (g)	673	673	668.8	648.6	650.9	654.2	648.2	647	646.7	
Lectura de carga (KN)	14.48	13.52	13.46	10.65	10.81	10.63	10.27	9.57	10.45	
Flujo (10 ⁻³)	150	150	150	160	165	160	160	160	160	

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES	1 A 3 = CONVENCIONALES
	10 A 12 = 1% ACEITE MOTOR
	19 A 21 = 2% ACEITE MOTOR

Lab/ta: for. Saez

Reviso: PINZ LAB



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO	TESIS ESPECIALIZACIÓN ACEITE MOTOR		
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C		
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°C		
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES		
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL	Gs.A.PETREOS	2,64 - 2,52
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70	Gs. ASFALTO	1.012

Briqueta No.	MARSHALL									
	28	29	30	37	38	39				
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19				
% Asfalto	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%				
Altura Briqueta (cm)	6.71	6.37	6.51	6.55	6.44	6.45				
Paso briqueta en aire Seca (g)	1191.4	1188	1191.6	1190.7	1191.1	1195.3				
Peso briqueta en aire SSS (g)	1193.7	1189.2	1195.2	1193.5	1192.7	1198.4				
Peso briqueta en agua (g)	638.3	641.7	646	648.5	652.8	654				
Lectura de carga (KN)	9.40	9.18	9.12	8.18	8.22	8.15				
Flujo (10 ⁻³)	140	140	130	110	110	100				

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES	28 A 30 = 5% ACEITE MOTOR
	37 A 39 = 10% ACEITE MOTOR

Lab/ta: foy + Saeed S

Reviso: PINZ LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO	TESIS ESPECIALIZACIÓN ACEITE MOTOR		
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C		
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°C		
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES		
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL	Gs.A.PETREOS	2,64 - 2,52
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70	Gs. ASFALTO	1.012

TRACCION INDIRECTA A 25°C 1 HORA									
Briqueta No.	4	5	6	13	14	15	22	23	24
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%
Altura Briqueta (cm)	6.3	6.4	6.3	6.5	6.5	6.47	6.6	6.63	6.64
Paso briqueta en aire Seca (g)	1198.8	1204.9	1194.9	1191.3	1189.4	1191.5	1186.5	1190.2	1189.6
Peso briqueta en aire SSS (g)	1199	1205	1195.3	1193.5	1191.2	1193	1189.3	1189	1191.7
Peso briqueta en agua (g)	675.5	6.77	673.1	644.9	646.1	648.7	639.9	646.6	643.4
Lectura de carga (KN)	12.61	12.26	11.97	9.80	9.27	9.27	8.79	8.80	8.78
Flujo (1/100")									

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES	4 A 6 = CONVENCIONALES
	13 A 15 = 1% ACEITE MOTOR
	22 A 24 = 2% ACEITE MOTOR

Lab/ta: foy + Saeed S.

Reviso: PINZ LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES



ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO

PROYECTO	TESIS ESPECIALIZACIÓN ACEITE MOTOR		
TEMPERATURA DE MEZCLA	150°C		
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	135° - 140°C		
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES		
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL	Gs.A.PETREOS	2,64 - 2,52
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70	Gs. ASFALTO	1.012

TRACCION INDIRECTA A 25°C 1 HORA									
Briqueta No.	31	32	33	40	41	42			
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19			
% Asfalto	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%			
Altura Briqueta (cm)	6.35	6.6	6.5	6.5	6.41	6.58			
Paso briqueta en aire Seca (g)	1196	1191.4	1193.5	1194.3	1192	1196.2			
Peso briqueta en aire SSS (g)	1198.3	1193.3	1197	1195.2	1192.6	1197.2			
Peso briqueta en agua (g)	649.6	657	648.5	654.5	654.8	657			
Lectura de carga (KN)	7.24	6.99	7.77	5.63	4.87	4.59			
Flujo (1/100")									

LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA ESTABILIDAD EN lb

OBSERVACIONES	31 A 33 = 5% ACEITE MOTOR
	40 A 42 = 10% ACEITE MOTOR

Lab/ta: foy + Saeed S

Reviso: PINZ LAB
LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y MATERIALES



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
2018

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CÓDIGO ORDEN:

PROYECTO ESPECIALIZACIÓN

Fecha de Ensayo

21/11/2018

Fecha Recepción

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	CONVENCIONALES			MDC-19
Muestra	7	8	9	
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	
Descripción	300 V	300 V	300 V	
Masa muestra inicial (g)	1200.4	1198.1	1199.4	
Masa muestra final (g)	1088.4	1071.2	1106.3	
Pérdida (g)	112.0	126.9	93.1	
Porcentaje de pérdida %	9.33%	10.59%	7.76%	

9,618 MINUTOS



CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CÓDIGO ORDEN: _____

PROYECTO ESPECIALIZACIÓN

Fecha de Ensayo 21/11/2018

Fecha Recepción _____

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	1% MODIFICADO ACEITE DE COCO			MDC-19
Muestra	16	17	18	
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	
Descripción	300 V	300 V	300 V	
Masa muestra inicial (g)	1193.1	1191.4	11896.0	
Masa muestra final (g)	1069.2	1070.5	1059.9	
Pérdida (g)	123.9	120.9	129.7	
Porcentaje de pérdida %	10.38%	10.15%	91.09%	



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
2018

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CÓDIGO ORDEN:

PROYECTO ESPECIALIZACIÓN

Fecha de Ensayo

21/11/2018

Fecha Recepción

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	2% MODIFICADO ACEITE DE MOTOR			MDC-19
Muestra	25	26	27	
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	
Descripción	300 V	300 V	300 V	
Masa muestra inicial (g)	1185.4	1192.7	1185.8	
Masa muestra final (g)	1061.8	1011.4	1053.8	
Pérdida (g)	123.6	181.3	132.0	
Porcentaje de pérdida %	10.43%	15.20%	11.13%	



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
2018

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CÓDIGO ORDEN: _____

PROYECTO ESPECIALIZACIÓN

Fecha de Ensayo 21/11/2018

Fecha Recepción _____

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	5% MODIFICADO ACEITE DE MOTOR			MDC-19
Muestra	34	35	36	
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	
Descripción	300 V	300 V	300 V	
Masa muestra inicial (g)	1194.6	1197.5	1188.7	
Masa muestra final (g)	1131.5	1125.6	1091.4	
Pérdida (g)	631.0	71.9	97.3	
Porcentaje de pérdida %	5.28%	6.00%	8.19%	



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
2018

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR

INFORME DE ENSAYO

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: INV E760-13

CÓDIGO ORDEN: _____

PROYECTO ESPECIALIZACIÓN

Fecha de Ensayo

21/11/2018

Fecha Recepción

I. DATOS DEL ENSAYO

Referencia	10% MODIFICADO ACEITE DE MOTOR			MDC-19
Muestra	43	44	45	
Condición de la muestra	SECA	SECA	SECA	
Descripción	300 V	300 V	300 V	
Masa muestra inicial (g)	1197.1	1192.5	1192.0	
Masa muestra final (g)	1148.3	1134.6	1147.6	
Pérdida (g)	48.8	57.9	44.4	
Porcentaje de pérdida %	4.08%	4.86%	3.72%	